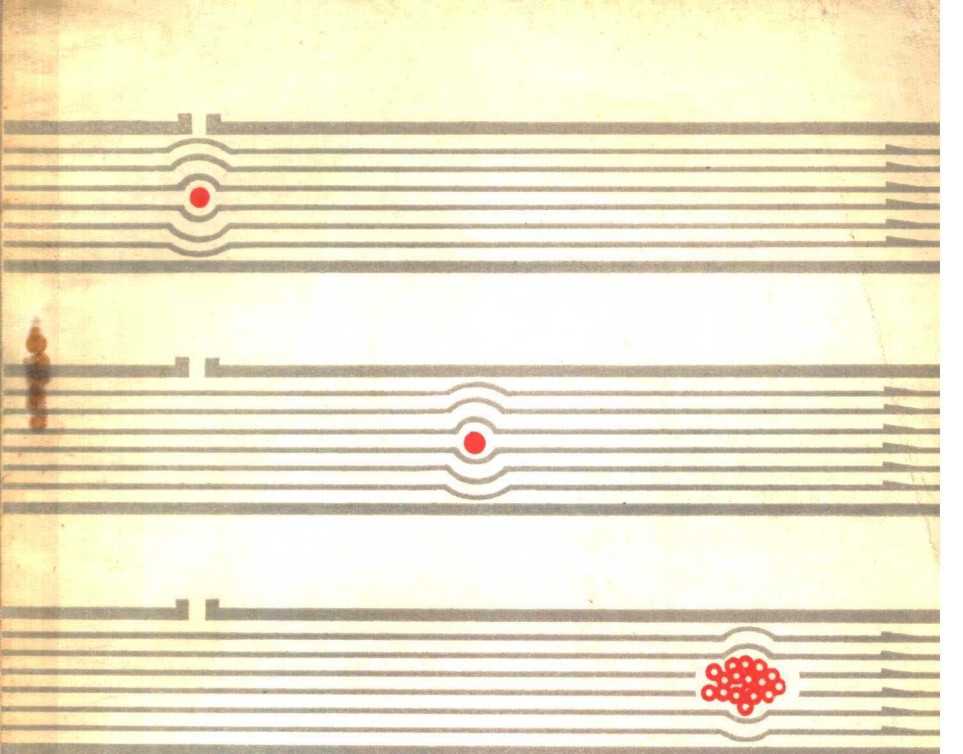




[苏] H. E. 杜奈耶夫
З. М. 库特里亚夫采娃
Ю. М. 库兹涅佐夫 著
王筱留 周俊荣等 译

高炉喷吹粉状物料

冶金工业出版社

高炉喷吹粉状物料

H.E. 杜 奈 耶 夫
〔苏〕 3.M. 库特里亚夫采娃 著
Ю. М. 库兹涅佐夫
王筱留 周俊荣等 译

冶金工业出版社

内 容 简 介

本书介绍了苏联和欧美几个国家在高炉喷吹粉状物料方面的一些经验，探讨了进一步完善和提高喷吹效果的工艺，分析了现有喷吹粉状物料的装置，着重介绍了粉—气混合物流态化输送原理，使用气动罐式泵连续或周期性输送各种物料的系统。

本书可供从事炼铁工作的科技人员和大专院校有关专业师生参考。

高 炉 喷 吹 粉 状 物 料

H.E. 杜 奈 耶 夫

(苏) 3.M. 库特里亚夫采娃 著

Ю. М. 库兹涅佐夫

王筱留 周俊荣等 译

*

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/32 印张 7 1/8 字数 153 千字

1980年3月第一版 1980年3月第一次印刷

印数00,001~3,000册

统一书号: 15062·3485 定价 0.67 元

译 者 的 话

高炉喷吹补充燃料已成为节焦的最有效措施之一，世界各国的炼铁工业根据不同资源条件喷吹各种不同的燃料。欧美和日本主要是喷吹液体燃料，苏联主要是喷吹天然气，我国则主要是喷吹煤粉。各国在结合本国喷吹燃料方面做了大量研究工作，积累了许多科研和生产资料。我国在喷煤工艺方面取得了很大成果，无论是在喷吹量和置换比方面，还是在喷煤高炉座数和喷吹稳定持续时间方面都处于世界先进地位。但是在喷煤系统的流态化输送和科学而准确的计量方面仍是相当薄弱的环节，急待试验研究解决。在国外，虽然喷煤尚处于工业试验阶段，但在流态化输送和计量方面取得不少成果。H.E.杜奈耶夫，З.М.库特里亚夫采娃，Ю.М.库兹涅佐夫所著《高炉喷吹粉状物料》一书综合介绍了苏联和欧美一些国家在高炉喷吹粉状燃料方面的一些经验，着重介绍了粉—气混合物流态化输送原理和应用气动罐式泵连续和周期性输送煤粉的装置。我们认为，它对改进我国喷煤工艺和喷煤系统中的流态化气力输送、计量方面的技术有一定的参考价值。因此译出此书供有关方面的工程技术人员参考。

本书译自苏联冶金出版社1977年版《Вдувание пылевидных материалов в доменные печи》一书。参加本书翻译的有首钢钢研所周俊荣（第一章）、王祖泉（第三章）、朱景康（第四、五章）和北京钢铁学院王筱留（第二章）蒋宗仁（第六、七、八章）、杨乃伏（第九、十、十一章）等同志。第一篇由周俊荣、冯忠浩（首钢设计院）校对，第二篇

由王筱留校对，全书由王筱留总校对。在翻译过程中得到首钢钢研所、设计院，北京钢铁学院炼铁教研室的领导和同志们的大力支持，在此表示衷心感谢。

由于译校者水平有限，译文中不妥和错误之处，欢迎读者批评指正。

1978年10月

目 录

译者的话

第一篇 高炉炉缸喷吹粉状物料冶炼的工艺问题	1
第一章 现代高炉冶炼中喷吹补充燃料的种类	1
一、气体燃料	2
二、液体燃料	4
三、固体燃料	6
四、综合燃料	7
第二章 高炉喷吹固体燃料时冶炼指标的计算和喷 吹效果的相对工艺性评价	9
一、工艺计算、热平衡	9
二、喷吹气体和固体补充燃料以及富氧和加湿鼓风时的直 接还原度	13
三、与高炉高温区放热和换热有关的补充燃料喷吹量的工 艺性限制	17
四、喷吹补充燃料时的高炉产量	25
五、补充燃料的置换比	33
六、工艺上允许的最低焦比	35
七、喷吹补充固体燃料时工艺效果的对比	37
第三章 高炉喷吹粉状燃料的冶炼试验	43
一、概况	43
二、国外喷吹煤粉燃料的试验	44
三、苏联喷吹煤粉燃料的试验	55
四、喷吹固体燃料时高炉冶炼的工艺特点	64
第四章 向高炉风口区喷吹不可燃物料	79
第五章 高炉喷吹粉状燃料在经济上的优越性	83

一、评价高炉喷吹各种补充燃料的冶炼效果的基本原理	84
二、高炉喷吹粉状燃料的经济效果	87
第二篇 喷吹粉料装置的计算、研究和使用的	90
第六章 供给高炉煤粉燃料的气力输送装置	90
一、外国公司的气力输送装置	90
二、苏联各钢铁厂的气力输送装置	100
三、对高炉喷吹粉料装置的要求	105
第七章 输送粉料系统工作的空气动力学基础	107
一、粉料—气体流股的参数和气力输送制度	108
二、管道中气体和粉料的混合料的运动	111
三、运用电子计算机计算气力输送的举例	116
四、气力输送的特点	121
五、气力输送时气体和固体颗粒的最小速度差	125
六、颗粒加速制度的近似计算	126
七、固体颗粒对管壁的摩擦	128
八、粉料—气体混合料高速运动的特点	129
第八章 流态化型气动罐式给料器工作的原则	
性特点	135
一、气动罐式给料器的类型	135
二、物料流态化的理论基础	141
三、从气动泵中输出粉料的机理	145
四、气动罐式给料器的基本工作参数	149
五、关于气动罐式给料器工作的试验数据	152
六、气动罐式泵生产能力的调节方法	165
第九章 物料连续输送的组织	169
一、中间罐和工作罐处于同一水平位置的连续工作的气 动给料器	170
二、中间罐位于工作罐上部的连续工作的气动给料器	178
第十章 气力输送粉料管道的磨损	182

一、直线区段的磨损与物料浓度、管道直径和输送气体 流速的关系	182
二、管道材质和被输送物料的品种对直线区段磨损的影响 ...	187
三、管道直线区段耐磨性的计算	189
四、气力输送管道弯头的磨损	191
五、弯头耐磨性计算	198
六、提高气力输送管道耐磨性的措施	200
第十一章 测量浓度的方法和煤粉的爆炸性	206
一、输送管道中测量浓度的方法和物料的检测	206
二、使用煤粉时的安全措施	209
附录	211
参考文献	214

第一篇 高炉炉缸喷吹粉状 物料冶炼的工艺问题

第一章 现代高炉冶炼中喷吹

补充燃料的种类

在现代高炉生产中，利用各种固体、液体和气体燃料及高温鼓风的热能作为工艺载能体。电能只限于电高炉生产中使用。其他种类的能量尚未进行工业性试验。

高炉生产的总趋势乃是始终不渝的减少能量平衡中的焦炭部分。因此，完善高炉冶炼工艺的主要方向是用其它种类的工艺性燃料代替焦炭。按世界生铁产量计，目前用其它燃料代替的焦炭量为8~9%（苏联为12%）。把全部必须的工艺燃料折合为焦炭，将来的置换量可达30~40%。在现代高炉生产中，使用的天然和人工工艺燃料已达20种，而且这个数字还在继续增加。

所谓高炉冶炼的补充燃料通常是指不经炉顶加入高炉的各种燃料，目前，它们一般是通过风口与热风一起进入高炉。表1所列数据示出了苏联、美国和日本使用补充燃料的规模。苏联高炉冶炼的能量平衡中使用补充燃料的总量超过美国，大致相当于日本的水平。但各种燃料的比重在各国均不相同。全世界有85~90%的生铁是有喷吹补充燃料的高炉冶炼的。

苏联、美国和日本高炉冶炼中补充燃料的使用情况

(1972~1973年资料)

表 1

燃 料	燃 料 消 耗 量								
	公斤/吨铁			公斤焦*/吨铁			占总焦炭量的%		
	苏 联	美 国	日 本	苏联	美 国	日 本	苏联	美国	日本
气体	71 米 ³ /吨铁	23.5 米 ³ /吨铁	—	56.8	16.74**	—	9.53	2.66	—
液体	1.59	17.1	49.42	1.94	20.9	60.27	0.33	3.30	12.24
固体	0.26	1.0	—	0.26	1.0	—	0.04	0.16	—

* 选定的计算当量为：置换 1 公斤焦炭必须 1 公斤煤粉；0.82 公斤重油；1.25 米³天然气；2.5 米³焦炉煤气。

** 气体燃料也包括焦炉煤气。

一、气 体 燃 料

目前高炉喷吹用的气体燃料达到工业和工业试验规模的暂时还只有天然气和焦炉煤气，以及由天然气、重油和石油裂解转化成的气体。

使用天然气的第一次工业性试验是1957年在苏联的彼得洛夫斯克钢铁厂进行的⁽¹⁾。其效果使这种新的工艺燃料在苏联高炉生产的实践中很快得到推广(表 2)。

苏联高炉生产中天然气的使用情况

表 2

指 标	年 份				
	1957	1960	1965	1970	1974
喷吹天然气的高炉座数	1	58	86	103	109
喷吹天然气冶炼的生铁量, 百万吨	—	19.3	52.5	73.8	84.5
喷吹天然气冶炼的生铁量占总铁量的%	—	41.3	79.3	85.9	83.9

1975年生产了8600万吨生铁，喷入8.07亿米³天然气，

节约焦炭75.1公斤/吨生铁。

苏联和美国使用天然气最广泛。1971年美国 and 加拿大的200座生产高炉中有70座喷吹了天然气，喷吹量为 $50\sim 73\text{米}^3$ /吨生铁。有天然气资源的其他国家的高炉也喷吹了天然气。

西德，法国和英国由于缺乏大量的天然气资源，在高炉生产中未使用这种补充燃料。

喷吹焦炉煤气的高炉美国有3座，加拿大和瑞典各有2座。日本也有几座高炉喷吹焦炉煤气。苏联也在两座高炉上成功地进行了工业性试验。从工艺和经济的观点来看，喷吹焦炉煤气优于天然气，但由于技术上的困难和必须用大量的投资来改造各厂复杂的供气系统，大规模地使用焦炉煤气受到限制。

用汽氧转化重油所获得的高温还原性气体的喷吹，在日本的试验高炉和 1700米^3 的工业高炉上均进行过试验。1967年苏联在新土拉钢铁厂及亚速钢厂进行了喷吹裂化天然气的冶炼试验。从工艺角度看，新土拉钢铁厂进行的试验是成功的，但由于气体裂化和加热设备在技术上不完善，以及其它的技术困难，试验没有继续进行下去。

采用未加工的天然气具有一些明显的优越性，如构成燃烧的工艺在技术上不复杂，而且向高炉输送的基建投资比采用液体燃料或固体燃料省 $20\sim 25\%$ 。苏联使用天然气的广度和深度在世界上是最高的。进一步提高喷吹效率取决于提高风温和鼓风富氧的潜力，两者用来补偿因提高喷吹量而降低炉缸煤气的温度和煤气体积的增加。这也是最近8年中天然气喷吹量在苏联提高不多的原因。虽然某些厂将鼓风富氧程度提高了 $6\sim 7\%$ （新里别茨克，耶那基耶夫斯克，克里伏洛格钢铁厂），天然气喷吹量达到 $100\sim 140\text{米}^3$ /吨生铁，但全国

平均喷吹量只由1965年的80.8米³/吨生铁提高到1974年的87.9米³/吨生铁。

喷吹经加工过的各种燃料对于所得到的热还原性气体来说,显然比喷吹未经加工的气体要有前途,但其加工工艺比较复杂,在所有细节方面还未很好研究,而且向高炉输送和喷吹温度高达1200~1300°C的侵蚀性气体在技术上也有困难。

二、液体燃料

高炉喷吹用的液体燃料有石油,重油,煤焦油和丁烷。使用最多的是重油。

使用液体燃料最多的看来是西德,1972年的重油平均喷吹量为80公斤/吨生铁,而在最新结构的高炉上超过了100公斤/吨生铁⁽²⁾。

1973年日本全部高炉的重油和其它液体燃料平均喷吹量为49.4公斤/吨生铁⁽³⁾。而新日本钢铁公司9座高炉的重油平均喷吹量在1972年就已达到76~99公斤/吨生铁。

1971年美国和加拿大的30座高炉使用了液体燃料,喷吹量为35~70公斤/吨生铁。1972年内陆钢铁公司印第安纳港厂的高炉重油平均喷吹量达到了73公斤/吨生铁。

1971年法国有68座高炉喷吹重油,其中5座高炉的重油喷吹量超过80公斤/吨生铁。苏联最早的重油喷吹试验是在楚索夫钢铁厂进行的,先后于1960年5月在258米³高炉和1961年初在1033米³高炉获得成功,而最早的重油和富氧综合喷吹试验是1964年在下塔吉尔钢铁公司进行的。苏联高炉生产喷吹重油的资料列于表3。

苏联生产高炉喷吹重油的情况

表 3

指 标	年 份					
	1965	1970	1971	1972	1973	1974
喷吹重油的高炉座数	21	5	6	7	9	14
喷吹重油冶炼的生铁量, 千吨	3564.1	1186.3	1119.6	3325.4	4122.3	8334.6
喷吹重油冶炼的生铁量与总产铁量之比值, %	5.55	1.4	1.3	3.6	4.3	8.35
重油喷吹总量, 千吨	107.0	27.4	27.2	117.0	156.6	298.9
平均重油喷吹量, 公斤/吨生铁	29.3	23.1	24.3	35.2	38.0	35.9
按全国生铁产量计算的平均重油喷吹量, 公斤/吨生铁	1.62	0.32	0.30	1.28	1.63	2.99

1965年苏联主要是在容积不太大的高炉上(其中也有一些1513米³以下的)喷吹重油。以后几年中,使用重油的规模降低了。当时认为:由于有大量的天然气资源,而且天然气使用技术简单,因而高炉喷吹重油的冶炼工艺在苏联发展前途不大。

1972年以后,使用液体燃料的规模在苏联有所增长。

使用重油的水平暂时还不高。1974年3座大型高炉的重油平均喷吹量达到55公斤/吨生铁,并成功地进行了喷吹重油100公斤/吨生铁的冶炼试验。近几年来苏联使用重油喷吹的广度和深度大大提高,并且不只是在没有天然气的地区喷吹重油。这是因为国民经济的其他部门对天然气需求的季节性波动很大。此外,计算和最初的一些试验^[4]表明,综合喷吹液体、气体和固体燃料能够大大改善冶炼指标。

在国外,煤焦油也用到高炉上。1969年美国在5座高炉上喷吹这种燃料21万吨。日本也在许多高炉上喷吹焦油^[5]。

1972年报道了日本钢管公司在高炉上开始喷吹价格昂贵,但不含硫的燃料——丁烷以代替重油^[5]。

喷吹液体燃料需要比较复杂的加工、输送和构成燃烧的工艺。节约每吨焦炭的投资费用也比喷吹未经加工的天然气时为高。尽管如此，从工艺和经济的观点出发，在苏联许多冶金区不管是单独喷吹，还是与其它气体和固体燃料综合喷吹，喷吹重油均比喷吹天然气更为合理^[4, 6]。

三、固体燃料

高炉喷吹用固体燃料，首先是非结焦性煤，它不仅资源丰富而且便宜。煤的天然储量要超过液体和气体燃料储量许多倍^①。正如以下所述，对现代高炉生产状况来说喷吹煤粉在工艺上完全可行，并已找到向高炉喷吹煤粉的适当技术方案。这些情况可使人们预料，高炉冶炼在使用新的载能体并扩大其使用规模方面，固体燃料具有很高的竞争能力。

苏联和其他国家均建设了利用固体燃料作为补充燃料的试验装置，并在很多生产高炉上进行了冶炼试验。

在这些冶炼试验过程中喷吹了各种烟煤、木质褐煤和褐煤热解产品作为补充燃料。在高炉冶炼的总燃料平衡中补充固体燃料的比重不大，但这并不意味着进行冶炼的规模不大。如在美国阿姆柯钢公司阿什兰厂的高炉上从1964年就开始喷吹煤粉。1973年1月喷吹了40万吨煤，喷吹量为130~140公斤/吨生铁。

1965年苏联在1719米³高炉上进行工业性喷煤试验，喷吹设备一直使用到1970年，在这期间高炉炼出1900万吨生铁，喷入95.4万吨煤粉。以后，在许多高炉上又投产了一些喷煤设备。苏联喷吹煤粉的规模见表4。

①在世界燃料储量中，折算为动力当量的煤量为82.6%，石油为10.68%，气体燃料为5.11%。

苏联高炉喷吹煤粉情况

表 4

指 标	年 份									
	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974
喷吹煤粉冶 炼的生铁量, 千吨	363.4	655.8	492.6	438.7	62.7	1013.3	318.3	687.1	870.5	885.6
喷吹煤粉 总量, 千吨	14.4	35.6	18.3	18.2	2.8	25.0	7.5	24.7	26.3	16.6

必须指出, 在这些厂中使用的试验装置本身均不带煤粉加工设备, 并且喷吹物的主要成分极不稳定, 煤粉质量低劣。目前已建成带有年产1百万吨煤粉的煤粉加工设备, 并决定在苏联的一些工厂内安装这种设备。预料将来用喷吹固体燃料冶炼的生铁量会有所增长。因此, 用于冶炼生铁的焦炭总耗量将会降低⁽⁷⁾。

四、综合燃料

人们综合各种燃料(天然气+重油, 重油+煤粉等)在动力设备中燃烧有着不同的目的: 喷嘴的通用化, 改善燃料雾化, 提高火焰亮度, 调节燃烧产物温度等等。在高炉冶炼中, 综合燃料可规定为补偿燃料短缺的措施, 当某种燃料一时供应不上时, 可用另一种来代替。

1972年苏联在耶那基耶夫斯克厂(后来又在其他钢铁厂)使用了天然气加重油的综合燃料⁽⁴⁾, 这样不仅成功地补偿了因天然气短缺而出现的焦炭过量消耗, 而且还因提高补充燃料的总置换量而降低焦炭消耗4~5%。

美国、加拿大、西德、比利时和其他一些国家都曾试验过油—煤悬浮液的综合燃料, 并进行了喷入风口装置的工业性试验。1966年苏联在一座247米³高炉上也进行过类似的试

验。这种综合喷吹的目的是简化往高炉输煤的技术^[8]，而实践表明输送煤粉比使用悬浮液更为简便，因此各处都不再使用悬浮液。

然而，如同综合气体和固体燃料那样，综合固体和液体燃料(可采用其它工业技术方法)仍然是很有前途的，特别是在富氧情况下更是如此。在这种情况下，可以期待综合喷吹要比各种燃料的单独喷吹在增产节焦方面取得更显著的效果。

沿各自的单独管路往高炉风口输送气体和固体燃料的综合喷吹已在查波罗什钢铁厂和顿涅茨钢铁厂成功地使用了多年^[9, 10]。综合喷吹各种补充燃料和富氧鼓风是提高补充燃料在高炉中的利用效率的最有发展前途的技术革新方向。

第二章 高炉喷吹固体燃料时 冶炼指标的计算和喷吹效果 的相对工艺性评价

一、工艺计算、热平衡

高炉冶炼利用各种载能体时的指标计算是建立在物料和热平衡基础上的,虽存在着许多不同的计算方案,但建立在解这些平衡联立方程式基础上的方案使用最广泛。A.H.拉姆推导的计算式逻辑性最强^[1],用它可以完成包括烧结和高炉配料计算在内的全部高炉冶炼参数的计算,同时还可以解决个别具体任务,其中包括高炉富氧、加湿鼓风时,喷吹补充燃料的冶炼指标计算。

计算的目的是根据冶炼条件确定主要工艺指标,这些冶炼条件是:1)炉料、焦炭和补充燃料的化学成分;2)鼓风成分和温度;3)补充燃料的消耗量;4)已知的生铁和炉渣成分等。

需确定的工艺指标是:1)矿石-熔剂消耗量;2)渣量;3)炉顶煤气量及其成分;4)风量和焦炭消耗量;5)产量。计算方法的重点列于附录中。

在最近几年理论研究、试验性和工业性冶炼所得的经验、资料基础上,对计算方法作了某些校正,用电子计算机为下列条件作了计算:

1) 往高炉炉缸喷吹天然气(S_1),与焦炭成分相同的固体燃料(S_2)或动力用煤(S_3);

2) 铁水成分和温度,炉渣碱度和温度,风温,焦炭和